

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-153518

(43)Date of publication of application : 08.06.1999

(51)Int.Cl.

G01M 17/007  
G01N 19/02  
G01P 3/44  
// B60T 8/58

(21)Application number : 09-321600

(71)Applicant : TOYOTA MOTOR CORP

(22)Date of filing : 21.11.1997

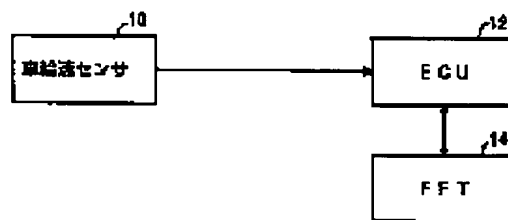
(72)Inventor : IWASAKI KATSUHIKO

## (54) ROAD FACE CONDITION JUDGING APPARATUS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To correctly judge a road face condition with being hardly affected by disturbances such a noises, etc., and reduce costs with utilization of an existing wheel velocity sensor, by executing judgment from an analysis result of frequencies of wheel velocity signals.

SOLUTION: Wheel velocity signals detected by a wheel velocity sensor 10 are supplied to an electric control device (ECU) 12. Measured wheel velocity data are supplied to a fast Fourier transformer(FFT) 14 and subjected to Fourier transform. A gain at each frequency is calculated, whereby a frequency spectrum of a wheel velocity is obtained. On a wet road with a wet face, the gain at a predetermined frequency (e.g. 30 Hz) or lower is large as a whole. On a dry road with a dry face, the gain at the predetermined frequency or lower is small. A road face condition, i.e., whether a road face where a vehicle is running is wet road or dry road can be judged from a sum of gains at the predetermined frequency or lower of the frequency spectrum of the wheel velocity. The ECU 12 executes brake control accordingly.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

05.07.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-153518

(43)公開日 平成11年(1999)6月8日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>  
G 0 1 M 17/007  
G 0 1 N 19/02  
G 0 1 P 3/44  
// B 6 0 T 8/58

識別記号

F I

G 0 1 M 17/00 Z  
G 0 1 N 19/02 B  
G 0 1 P 3/44 Z  
B 6 0 T 8/58 Z

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 14 頁)

(21)出願番号 特願平9-321600

(22)出願日 平成9年(1997)11月21日

(71)出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社  
愛知県豊田市トヨタ町1番地

(72)発明者 岩▲崎▼ 克彦

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

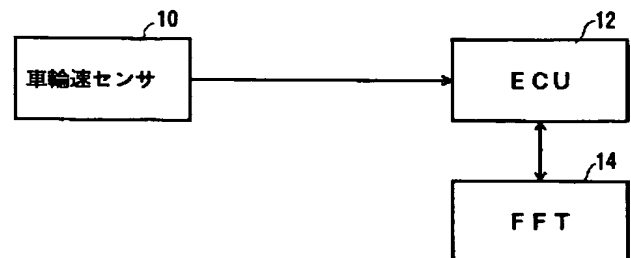
(74)代理人 弁理士 伊東 忠彦

(54)【発明の名称】 路面状態判定装置

(57)【要約】

【課題】 本発明は、車輪速信号の周波数解析の結果から路面状態を判定することにより、騒音等の外乱の影響を受けにくく、正確な判定を行うことができ、既存の車輪速センサを利用でき、コストを低く抑えることのできる路面状態判定装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 車輪速を検出する車輪速検出手段と、記検出された車輪速信号の周波数解析を行う解析手段と、解析の結果から路面状態を判定する判定手段とを有する。ここでは、路面状態に応じて車輪速信号の周波数解析結果が異なることに着目し、車輪速信号の周波数解析結果を用いて路面状態を判別する。このため、車輪の直接的な動きから判定を行っているので、騒音等の外乱の影響を受けにくく、正確な判定を行うことができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 車輪速を検出する車輪速検出手段と、前記検出された車輪速信号の周波数解析を行う解析手段と、前記解析の結果から路面状態を判定する判定手段とを有することを特徴とする路面状態判定装置。

【請求項2】 請求項1記載の路面状態判定装置において、前記判定手段は、所定周波数領域の信号強度に基づいて路面状態を判定することを特徴とする路面状態判定装置。

【請求項3】 請求項2記載の路面状態判定装置において、前記判定手段は、所定周波数以下の信号強度に基づいて路面状態を判定することを特徴とする路面状態判定装置。

【請求項4】 請求項2記載の路面状態判定装置において、前記判定手段は、車輪速によって決まる所定周波数の信号強度に基づいて路面状態を判定することを特徴とする路面状態判定装置。

【請求項5】 請求項2記載の路面状態判定装置において、前記判定手段は、車輪の固有振動周波数と略等しい周波数の信号強度に基づいて路面状態を判定することを特徴とする路面状態判定装置。

【請求項6】 請求項5記載の路面状態判定装置において、前記判定手段は、路面外乱の影響だけを受ける周波数の信号強度に基づき前記車輪の固有振動周波数と略等しい周波数の信号強度を正規化し、正規化した信号強度に基づき路面状態を判定することを特徴とする路面状態判定装置。

【請求項7】 請求項5記載の路面状態判定装置において、路面の振動情報を走行位置に応じて記憶する記憶手段を有し、前記判定手段は、前記記憶手段に記憶されている走行位置に応じた振動情報と車輪の固有振動周波数と略等しい周波数の信号強度に基づいて路面状態を判定することを特徴とする路面状態判定装置。

【請求項8】 請求項5記載の路面状態判定装置において、車輪速に基づき前記判定手段の判定基準を変更する判定基準変更手段を有することを特徴とする路面状態判定装置。

【請求項9】 請求項5記載の路面状態判定装置において、タイヤ空気圧に基づき前記判定手段で判定に用いる周波数を変更する周波数変更手段を有することを特徴とする

路面状態判定装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、路面状態判定装置に関し、車両の走行している路面の摩擦係数 $\mu$ 等の路面状態を判定する路面状態判定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、ロードノイズに基づいて車両が走行している路面の状態を判定する路面状態判定装置が開発されている。例えば、特開平7-156782号公報には、車輪から発生されるロードノイズを検出し、この検出されたロードノイズの各周波数成分のパターンからニューラルネットワークを利用して路面状態を判定することが記載されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】従来装置は、ロードノイズを検出するためにマイクロホンを用いており、周辺環境によっては他の騒音等の外乱の影響を受けやすい。このため、マイクロホンの設置位置が制限されるため、設置位置を決定するのが難しい。また、マイクロホンを新たにセンサとして付加する必要があることから、構成部品点数が多くなるという問題があった。

【0004】本発明は、上記の点に鑑みなされたもので、車輪速信号の周波数解析の結果から路面状態を判定することにより、騒音等の外乱の影響を受けにくく、正確な判定を行うことができ、既存の車輪速センサを利用でき、コストを低く抑えることのできる路面状態判定装置を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明は、車輪速を検出する車輪速検出手段と、前記検出された車輪速信号の周波数解析を行う解析手段と、前記解析の結果から路面状態を判定する判定手段とを有する。ここでは、路面状態に応じて車輪速信号の周波数解析結果が異なることに着目し、車輪速信号の周波数解析結果を用いて路面状態を判別する。このため、車輪の直接的な動きから判定を行っているため、騒音等の外乱の影響を受けにくく、正確な判定を行うことができる。

【0006】請求項2に記載の発明は、請求項1記載の路面状態判定装置において、前記判定手段は、所定周波数領域の信号強度に基づいて路面状態を判定する。このため、路面状態によって顕著な違いが現れる周波数帯域で判定を行うことができ、正確な判定を行うことができ、精度が向上する。請求項3に記載の発明は、請求項2記載の路面状態判定装置において、前記判定手段は、所定周波数以下の信号強度に基づいて路面状態を判定する。

【0007】このため、路面状態によって顕著な違いが現れる周波数帯域で判定を行うことができ、正確な判定を行うことができ、精度が向上する。請求項4に記載の

発明は、請求項2記載の路面状態判定装置において、前記判定手段は、車輪速によって決まる所定周波数の信号強度に基づいて路面状態を判定する。

【0008】タイヤでは車輪速によって定まる所定の周波数で外乱が現れ信号強度が変化し、路面状態によってこの変化度合いが異なるため、これを利用して路面状態を判定することが可能となる。請求項5に記載の発明は、請求項2記載の路面状態判定装置において、前記判定手段は、車輪の固有振動周波数と略等しい周波数の信号強度に基づいて路面状態を判定する。

【0009】車輪の固有振動周波数と略等しい周波数では路面状態によって信号強度が変化するため、これを利用して路面状態を判定することが可能となる。請求項6に記載の発明は、請求項5記載の路面状態判定装置において、前記判定手段は、路面外乱の影響だけを受ける周波数の信号強度に基づき前記車輪の固有振動周波数と略等しい周波数の信号強度を正規化し、正規化した信号強度に基づき路面状態を判定する。

【0010】路面の凸凹による路面外乱で信号強度が変化するため、路面外乱の影響だけを受ける周波数の信号強度に基づき信号強度を正規化することにより、路面外乱の影響を排除して正確に路面状態を判定することができる。請求項7に記載の発明は、請求項5記載の路面状態判定装置において、路面の振動情報を走行位置に応じて記憶する記憶手段を有し、前記判定手段は、前記記憶手段に記憶されている走行位置に応じた振動情報と車輪の固有振動周波数と略等しい周波数の信号強度に基づいて路面状態を判定する。

【0011】路面の凸凹による路面の振動情報を予め記憶し、走行位置に応じた振動情報と車輪の固有振動周波数と略等しい周波数の信号強度に基づいて路面状態を判定するため、路面外乱の影響を排除して正確に路面状態を判定することができる。請求項8に記載の発明は、請求項5記載の路面状態判定装置において、車輪速に基づき前記判定手段の判定基準を変更する判定基準変更手段を有する。

【0012】車輪速によって車輪の固有振動周波数と略等しい周波数の信号強度が変化するため、車輪速に基づき判定基準を変更することで正確に路面状態を判定することができる。請求項9に記載の発明は、請求項5記載の路面状態判定装置において、タイヤ空気圧に基づき前記判定手段で判定に用いる周波数を変更する周波数変更手段を有する。

【0013】タイヤ空気圧によって車輪の固有振動周波数が変化するため、タイヤ空気圧に基づき判定に用いる周波数を変更することで正確に路面状態を判定することができる。

【0014】

【発明の実施の形態】図1は本発明の路面状態判定装置の第1実施例のブロック図を示す。同図中、車輪速セン

サ10で検出された車輪速信号はECU（電子制御装置）12に供給される。ここでは車両の4輪のうち1輪の車輪速信号を車輪速センサ10で検出しているが、4輪の車輪速信号が所定時間毎に順次切換えられてECU12に供給される構成としても良い。ECU12にはFFT（高速フーリエ変換器）14が接続されている。

【0015】図2はECU12が実行する路面状態判定処理の第1実施例のフローチャートを示す。この処理は所定時間毎に繰り返される。同図中、まず、ステップS12で車輪速信号を読み込む。次に、ステップS14でカウンタnの値が所定値Tn未満か否かを判別する。n<Tnの場合は、ステップS16で計測した車輪速をメモリ（内蔵のRAM）に保存し、かつ、カウンタnを1だけインクリメントしてステップS12へ進む。カウンタnの値がTn以上のときはステップS18に進み、所定値Tnに対応する期間に計測された車輪速データをFFT14に供給してフーリエ変換を実行させ、各周波数におけるゲインを計算して車輪速の周波数スペクトラムを求める。

【0016】ところで、車輪速信号の周波数スペクトラムをとると、路面が濡れたウエット路においては図3の破線Iに示すように所定周波数（例えば30Hz）以下でのゲインが全体的に大きいものに対して、路面が乾いたドライ路においては図3の実線IIに示すように所定周波数以下でのゲインが全体的に小さくなる。このため、ステップS20では所定周波数（例えば30Hz）以下の離散的な周波数それぞれにおけるゲインの総和（積分値）SG1を求める。そして、ステップS22で上記ゲインの総和SG1を閾値TG1と比較する。この閾値TG1は図3の周波数30Hz以下における破線I上のポイントのゲインの総和と、実線II上のポイントのゲインの総和との平均値を用いる。これにより、ステップS22の比較でSG1>TG1の場合は、ステップS24に進んでウエット路と判定し、SG1≤TG1の場合は、ステップS26に進んでドライ路と判定する。その後、ステップS28でカウンタnを0にリセットして処理サイクルを終了する。

【0017】このようにして、車輪速の周波数スペクトラムの所定周波数以下のゲインの総和から、車両が走行している路面がウエット路かドライ路かの路面状態を判定できる。ECU12は路面状態を判定結果を例えばアンチロックブレーキシステムに通知し、アンチロックブレーキシステムでは路面状態に応じたブレーキ制御を行う。アンチロックブレーキシステムでは車輪速センサを必要としているため、本発明装置ではアンチロックブレーキシステムの車輪速センサ信号を流用すれば良く、マイクロホン等の新たなセンサを必要としない。

【0018】図4は本発明の路面状態判定装置の第2実施例のブロック図を示す。同図中、車輪速センサ10で検出された車輪速信号はバンドパスフィルタ群16に供

給される。ここでは車両の4輪のうち1輪の車輪速信号を車輪速センサ10で検出しているが、4輪の車輪速信号が所定時間毎に順次切換えられてバンドパスフィルタ群16に供給される構成としても良い。

【0019】バンドパスフィルタ群16は複数個のバンドパスフィルタより構成されている。各バンドパスフィルタは所定周波数（例えば30Hz）以下で互いに異なる周波数（例えば5Hz、10Hz、15Hz、20Hz、25Hz）を中心とする狭い周波数帯域（例えば±数Hz）の信号を通過させる通過周波数帯域特性を有している。このバンドパスフィルタ群16の複数個のバンドパスフィルタそれぞれを通過した信号がECU（電子制御装置）12に供給される。

【0020】図5はECU12が実行する路面状態判定処理の第2実施例のフローチャートを示す。この処理は所定時間毎に繰り返される。同図中、まず、ステップS30でバンドパスフィルタ群16の複数個のバンドパスフィルタそれぞれを通過した車輪速信号を順次読み込む。次に、ステップS32で読み込んだ車輪速信号の振幅の絶対値つまりゲインを求める。そして、ステップS34で各バンドパスフィルタ出力のゲインの総和SG2を求める。そして、ステップS36で上記ゲインの総和SG2を閾値TG2と比較する。

【0021】この閾値TG2は、各バンドパスフィルタの通過中心周波数5Hz、10Hz、15Hz、20Hz、25Hzにおける図3の周波数スペクトラムの破線I上のポイントのゲインの総和と、実線II上のポイントのゲインの総和との平均値を用いる。これにより、ステップS36の比較でSG2>TG2の場合はステップS38に進んでウェット路と判定し、SG2≤TG2の場合はステップS40に進んでドライ路と判定して、処理サイクルを終了する。

【0022】この実施例ではバンドパスフィルタ群16を用いることにより、簡易的に車輪速の周波数スペクトラムを求めており、大きなメモリ容量を持つFFTを用いる必要がなく、低コストで、車両が走行している路面がウェット路かドライ路かの路面状態を判定できる。ECU12は路面状態を判定結果を例えばアンチロックブレーキシステムに通知し、アンチロックブレーキシステムでは路面状態に応じたブレーキ制御を行う。アンチロックブレーキシステムでは車輪速センサを必要としているため、本発明装置ではアンチロックブレーキシステムの車輪速センサ信号を流用すれば良く、マイクロホン等の新たなセンサを必要としない。

【0023】図6は本発明の路面状態判定装置の第3実施例のブロック図を示す。同図中、車輪速センサ10で検出された車輪速信号は可変バンドパスフィルタ群18に供給される。ここでは車両の4輪のうち1輪の車輪速信号を車輪速センサ10で検出しているが、4輪の車輪速信号が所定時間毎に順次切換えられて可変バンドパス

フィルタ群18に供給される構成としても良い。

【0024】ここで、車輪のタイヤは接地面が扁平にたわみ変形し、このタイヤのたわみによって車輪速信号にアンユニフォーミティ外乱が発生する。タイヤは路面摩擦係数 $\mu$ が大きい路面ではスリップロスが小さいため、タイヤの回転周波数と等しい周波数にアンユニフォーミティ外乱の基本波のピークが現れ、また、その高調波も現れる。図3の実線II（ドライ路）では周波数8Hzにアンユニフォーミティ外乱の基本波のピークが現れ、その2次、3次、4次高調波も現れている。しかし、路面摩擦係数 $\mu$ が小さい路面ではスリップロスが大きいいため、アンユニフォーミティ外乱の基本波のピークはブロードとなってゲインが小さくなる。その高調波もブロードとなってゲインが小さくなる。図3の破線I（ウェット路）では周波数8Hzのアンユニフォーミティ外乱の基本波のピークがブロードとなり、その2次、3次、4次高調波もブロードとなっている。

【0025】可変バンドパスフィルタ群18は複数個の可変バンドパスフィルタより構成されている。この複数個の可変バンドパスフィルタそれぞれで、タイヤの回転周波数と等しい周波数のアンユニフォーミティ外乱の基本波のピーク及びその2次、3次、4次の高調波それぞれを帯域分離する。可変バンドパスフィルタ群18はECU12から供給される制御信号に応じて各バンドパスフィルタの通過周波数帯域特性を可変して、アンユニフォーミティ外乱の基本波及びその2次、3次、4次の高調波それぞれを取り出し、帯域制限をしていない車輪速信号と共にECU12に供給する。

【0026】図7はECU12が実行する路面状態判定処理の第3実施例のフローチャートを示す。この処理は所定時間毎に繰り返される。同図中、まず、ステップS42で4輪の帯域制限をしていない車輪速信号を読み込んで車速を求め、この車速に基づいた制御信号を生成して可変バンドパスフィルタ群18に供給する。なお、車速とアンユニフォーミティ外乱の基本波との関係を図8に示す。これによって、可変バンドパスフィルタ群18は各バンドパスフィルタの通過周波数帯域特性を可変して、アンユニフォーミティ外乱の基本波及びその2次、3次、4次の高調波それぞれを取り出す。

【0027】ステップS44では可変バンドパスフィルタ群18からの複数個の可変バンドパスフィルタそれぞれを通過した車輪速信号を順次読み込む。次に、ステップS46で読み込んだ車輪速信号の振幅の絶対値つまりゲインを求める。そして、ステップS48で各可変バンドパスフィルタ出力のゲインの総和SG3を求める。そして、ステップS50で上記ゲインの総和SG3を閾値TG3と比較する。

【0028】この閾値TG3は、アンユニフォーミティ外乱の基本波及びその2次、3次、4次の高調波それぞれの周波数における図3の周波数スペクトラムの破線I

上のポイントのゲインの総和と、実線II上のポイントのゲインの総和との平均値を用いる。これにより、ステップS50の比較で $SG3 \leq TG3$ の場合はステップS52に進んでウェット路と判定し、 $SG3 > TG3$ の場合はステップS52に進んでドライ路と判定して、処理サイクルを終了する。

【0029】この実施例では可変バンドパスフィルタ群16を用いることにより、アンユニフォーミティ外乱の基本波及びその2次、3次、4次の高調波を求め、車両が走行している路面がウェット路かドライ路かの路面状態を判定しており、大きなメモリ容量を持つFFTを用いる必要がなく、低コストとなる。ところで、タイヤは図9のタイヤモデルに示すように、ホイール20とベルト22が回転方向にバネ24で接続されていると考えられる。タイヤが回転しているとき、ベルト22が路面26に接地するとホイール20の回転速度 $\omega_w$ に対してベルト22の回転速度 $\omega_l$ が遅れてバネ24が引っ張られ、ベルト22が路面26から離れるとバネ24が縮むために、タイヤの前後方向のバネ振動による固有振動が発生し、この固有振動が車輪速信号に含まれる。この固有振動の周波数は40Hz近傍である。

【0030】また、タイヤは、乾燥アスファルト等の路面摩擦係数 $\mu$ が大きい路面ではスリップロスが小さいため、上記固有振動のピークのゲインは図10の実線IIIに示すように大きくなり、濡れたアスファルト等の路面摩擦係数 $\mu$ が小さい路面ではスリップロスが大きいため、固有振動のピークのゲインは一点鎖線IVに示すように小さくなり、更に、圧雪路等の路面摩擦係数 $\mu$ が更に小さい路面ではスリップロスが非常に大きいため、固有振動のピークのゲインは破線Vに示すように非常に小さくなる。

【0031】この固有信号を利用して、図1に示すECU12が実行する路面状態判定処理の第4実施例のフローチャートを図11に示す。この処理は所定時間毎に繰り返される。同図中、まず、ステップS112で車輪速信号を読み込む。次に、ステップS114でカウンタ $n$ の値が所定値 $Tn$ 未満か否かを判別する。 $n < Tn$ の場合は、ステップS116で計測した車輪速をメモリ（内蔵のRAM）に保存し、かつ、カウンタ $n$ を1だけインクリメントしてステップS112へ進む。カウンタ $n$ の値が $Tn$ 以上のときはステップS118に進み、所定値 $Tn$ に対応する期間に計測された車輪速データをFFT14に供給してフーリエ変換を実行させ、各周波数におけるゲインを計算して車輪速の周波数スペクトラムを求める。

【0032】ステップS120では固有振動の周波数（40Hz近傍）におけるゲインを上記車輪速の周波数スペクトラムから読み取る。そして、ステップS122で上記ゲインでマップを参照して路面摩擦係数 $\mu$ を推定する。このマップは、図10に基づいて、固有振動の周

波数（40Hz近傍）におけるゲインと路面摩擦係数 $\mu$ とを関係付けたものである。この後、ステップS128でカウンタ $n$ を0にリセットして処理サイクルを終了する。

【0033】このようにして、車輪速の周波数スペクトラムの固有振動の周波数（40Hz近傍）におけるゲインから車両が走行している路面の路面摩擦係数 $\mu$ を推定することができる。図4に示すECU12が実行する路面状態判定処理の第5実施例のフローチャートを図12に示す。この処理は所定時間毎に繰り返される。同図中、まず、ステップS130でバンドパスフィルタ群16のうちで固有振動の周波数（40Hz近傍）を通過するバンドパスフィルタから供給される車輪速信号を読み込む。次に、ステップS132で読み込んだ車輪速信号の振幅の絶対値つまりゲインを求める。そして、ステップS134で上記ゲインでマップを参照して路面摩擦係数 $\mu$ を推定する。このマップは、図10に基づいて、固有振動の周波数（40Hz近傍）におけるゲインと路面摩擦係数 $\mu$ とを関係付けたものである。この後、処理サイクルを終了する。

【0034】この実施例ではバンドパスフィルタ群16を用いることにより、簡易的に車輪速の固有振動成分を取り出しており、低コストで、車両が走行している路面の路面摩擦係数 $\mu$ を推定することができる。ところで、乾燥アスファルト等の滑らかな路面では路面外乱が小さいため、車輪速信号の周波数スペクトラムは図13の実線に示すように全体のゲインが小さくなり、圧雪路等の凸凹の路面では路面外乱が大きいので、この路面外乱がオフセットとなり車輪速信号の周波数スペクトラムは図13の破線に示すように全体のゲインが大きくなる。この場合は固有振動の周波数のゲインをそのまま用いると、路面摩擦係数 $\mu$ を誤って推定することになる。

【0035】これを解決するのが次の実施例である。図1に示すECU12が実行する路面状態判定処理の第6実施例のフローチャートを図14に示す。図14において、図11と同一ステップには同一番号を付す。この処理は所定時間毎に繰り返される。図14中、まず、ステップS112で車輪速信号を読み込む。次に、ステップS114でカウンタ $n$ の値が所定値 $Tn$ 未満か否かを判別する。 $n < Tn$ の場合は、ステップS116で計測した車輪速をメモリ（内蔵のRAM）に保存し、かつ、カウンタ $n$ を1だけインクリメントしてステップS112へ進む。カウンタ $n$ の値が $Tn$ 以上のときはステップS118に進み、所定値 $Tn$ に対応する期間に計測された車輪速データをFFT14に供給してフーリエ変換を実行させ、各周波数におけるゲインを計算して車輪速の周波数スペクトラムを求める。ステップS120では固有振動の周波数（40Hz近傍）におけるゲインを上記車輪速の周波数スペクトラムから読み取る。

【0036】次に、ステップS125で路面外乱だけが

存在する特定周波数（例えば20Hz）のゲインの平均値 $H_{AVE}$ を計算する。これは過去一定時間の特定周波数のゲインを保持することで計算を行う。次に、ステップS126で予め設定された基準値 $H_{REF}$ と平均値 $H_{AVE}$ との差 $D (=H_{AVE} - H_{REF})$ を求め、ステップS127で今回得られた周波数スペクトラムのうちの固有振動の周波数（40Hz近傍）のゲインに差 $D$ を乗算して固有振動の周波数のゲインの正規化を行う。

【0037】そして、ステップS122で上記正規化されたゲインでマップを参照して路面摩擦係数 $\mu$ を推定する。この後、ステップS124でカウンタ $n$ を0にリセットして処理サイクルを終了する。このように、固有振動の周波数のゲインの正規化を行って、正規化されたゲインでマップを参照して路面摩擦係数 $\mu$ を推定するため、路面外乱の影響により誤ることなく正確な路面摩擦係数 $\mu$ を推定することができる。

【0038】図4に示すECU12が実行する路面状態判定処理の第7実施例のフローチャートを図15に示す。この処理は所定時間毎に繰り返される。この処理は所定時間毎に繰り返される。同図中、まず、ステップS140でバンドパスフィルタ群16のうちで固有振動の周波数（40Hz近傍）及び路面外乱だけが存在する特定周波数（例えば20Hz）を通過するバンドパスフィルタから供給される車輪速信号を読み込む。次に、ステップS142で読み込んだ2つの周波数の車輪速信号の振幅の絶対値つまりゲインを求める。

【0039】次に、ステップS144で路面外乱だけが存在する特定周波数（例えば20Hz）のゲインの平均値 $H_{AVE}$ を計算する。これは過去一定時間の特定周波数のゲインを保持することで計算を行う。次に、ステップS146で予め設定された基準値 $H_{REF}$ と平均値 $H_{AVE}$ との差 $D (=H_{AVE} - H_{REF})$ を求め、ステップS148で今回得られた固有振動の周波数（40Hz近傍）のゲインに差 $D$ を乗算して固有振動の周波数のゲインの正規化を行う。

【0040】そして、ステップS150で上記ゲインでマップを参照して路面摩擦係数 $\mu$ を推定する。このマップは、図10に基づいて、固有振動の周波数（40Hz近傍）におけるゲインと路面摩擦係数 $\mu$ とを関係付けたものである。この後、処理サイクルを終了する。このように、固有振動の周波数のゲインの正規化を行って、正規化されたゲインでマップを参照して路面摩擦係数 $\mu$ を推定するため、路面外乱の影響により誤ることなく正確な路面摩擦係数 $\mu$ を推定することができる。

【0041】また、車速によって固有振動の周波数のゲインが変化することが実験的に知られている。圧雪路等の路面では、図16（A）に示すように、低速での固有振動の周波数のゲイン $a$ に対して中速でのゲイン $b$ 、高速でのゲイン $c$ の順にゲインが低下する。同様に乾燥アスファルト等の路面では、図16（B）に示すように、

低速での固有振動の周波数のゲイン $a$ に対して中速でのゲイン $b$ 、高速でのゲイン $c$ の順にゲインが低下する。この場合は固有振動の周波数のゲインをそのまま用いると、路面摩擦係数 $\mu$ を誤って推定することになる。

【0042】これを解決するのが次の実施例である。図1に示すECU12が実行する路面状態判定処理の第8実施例のフローチャートを図17に示す。図17において、図11と同一ステップには同一番号を付す。この処理は所定時間毎に繰り返される。図17中、まず、ステップS112で車輪速信号を読み込む。次に、ステップS114でカウンタ $n$ の値が所定値 $T_n$ 未満か否かを判別する。 $n < T_n$ の場合は、ステップS116で計測した車輪速をメモリ（内蔵のRAM）に保存し、かつ、カウンタ $n$ を1だけインクリメントしてステップS112へ進む。カウンタ $n$ の値が $T_n$ 以上のときはステップS118に進み、所定値 $T_n$ に対応する期間に計測された車輪速データをFFT14に供給してフーリエ変換を実行させ、各周波数におけるゲインを計算して車輪速の周波数スペクトラムを求める。ステップS120では固有振動の周波数（40Hz近傍）におけるゲインを上記車輪速の周波数スペクトラムから読み取る。

【0043】次に、ステップS128で例えば4輪の車輪速の平均から車速を求め、この車輪速に基づいてマップを選択する。このマップは、図16に基づいて、各車速毎に固有振動の周波数（40Hz近傍）におけるゲインと路面摩擦係数 $\mu$ とを関係付けたものである。そして、ステップS122でゲインで選択したマップを参照して路面摩擦係数 $\mu$ を推定する。この後、ステップS124でカウンタ $n$ を0にリセットして処理サイクルを終了する。

【0044】このように、車速に基づいてマップを選択し、固有振動の周波数のゲインで選択したマップを参照して路面摩擦係数 $\mu$ を推定するため、車速の影響により誤ることなく正確な路面摩擦係数 $\mu$ を推定することができる。図4に示すECU12が実行する路面状態判定処理の第9実施例のフローチャートを図18に示す。図18において、図12と同一ステップには同一番号を付す。この処理は所定時間毎に繰り返される。図18中、まず、ステップS130でバンドパスフィルタ群16のうちで固有振動の周波数（40Hz近傍）を通過するバンドパスフィルタから供給される車輪速信号を読み込む。次に、ステップS132で読み込んだ車輪速信号の振幅の絶対値つまりゲインを求める。

【0045】次に、ステップS136で例えば4輪の車輪速の平均から車速を求め、この車輪速に基づいてマップを選択する。このマップは、図16に基づいて、各車速毎に固有振動の周波数（40Hz近傍）におけるゲインと路面摩擦係数 $\mu$ とを関係付けたものである。そして、ステップS134で上記ゲインで選択したマップを



参照して路面摩擦係数 $\mu$ を推定する。この後、処理サイクルを終了する。

【0046】このように、車速に基づいてマップを選択し、固有振動の周波数のゲインで選択したマップを参照して路面摩擦係数 $\mu$ を推定するため、車速の影響により誤ることなく正確な路面摩擦係数 $\mu$ を推定することができる。また、タイヤの空気圧によって、図9に示すモデルのバネ24の定数が変化して固有振動の周波数が変化する。圧雪路等の路面では、図19(A)に示すように、タイヤ空気圧が高いときの固有振動の周波数 $f_a$ に対してタイヤ空気圧が中程度のときの固有振動の周波数 $f_b$ 、タイヤ空気圧が低いときの固有振動の周波数 $f_c$ の順に周波数が低下する。同様に乾燥アスファルト等の路面では、図19(B)に示すように、タイヤ空気圧が高いときの固有振動の周波数 $f_a$ に対してタイヤ空気圧が中程度のときの固有振動の周波数 $f_b$ 、タイヤ空気圧が低いときの固有振動の周波数 $f_c$ の順に周波数が低下する。つまりタイヤ空気圧が変動した場合は固有振動の周波数を固定していると、その周波数のゲインをそのまま用いると、路面摩擦係数 $\mu$ を誤って推定することになる。

【0047】これを解決するのが次の実施例である。図1に示すECU12が実行する路面状態判定処理の第10実施例のフローチャートを図20に示す。但し、図1のECU12にはタイヤ空気圧センサで検出したタイヤ空気圧が供給される。図20において、図11と同一ステップには同一番号を付す。この処理は所定時間毎に繰り返される。図20中、まず、ステップS112で車輪速信号を読み込む。次に、ステップS114でカウンタ $n$ の値が所定値 $T_n$ 未満有無かを判別する。 $n < T_n$ の場合は、ステップS116で計測した車輪速をメモリ

(内蔵のRAM)に保存し、かつ、カウンタ $n$ を1だけインクリメントしてステップS112へ進む。カウンタ $n$ の値が $T_n$ 以上のときはステップS118に進み、所定値 $T_n$ に対応する期間に計測された車輪速データをFFT14に供給してフーリエ変換を実行させ、各周波数におけるゲインを計算して車輪速の周波数スペクトラムを求める。

【0048】次に、ステップS129でタイヤ空気圧を検出し、このタイヤ空気圧から固有振動の周波数を決定する。次の、ステップS120では決定された固有振動の周波数におけるゲインを上記車輪速の周波数スペクトラムから読み取る。そして、ステップS122で上記ゲインでマップを参照して路面摩擦係数 $\mu$ を推定する。このマップは、固有振動の周波数におけるゲインと路面摩擦係数 $\mu$ とを関係付けたものである。この後、ステップS124でカウンタ $n$ を0にリセットして処理サイクルを終了する。

【0049】このように、タイヤ空気圧に基づいて固有振動の周波数を決定し、決定した固有振動の周波数のゲ

インでマップを参照して路面摩擦係数 $\mu$ を推定するため、タイヤ空気圧の影響により誤ることなく正確な路面摩擦係数 $\mu$ を推定することができる。図4に示すECU12が実行する路面状態判定処理の第11実施例のフローチャートを図21に示す。但し、図4のECU12にはタイヤ空気圧センサで検出したタイヤ空気圧が供給される。図21において、図12と同一ステップには同一番号を付す。この処理は所定時間毎に繰り返される。図21中、まず、ステップS138でタイヤ空気圧を検出し、このタイヤ空気圧から固有振動の周波数を決定する。次のステップS130でバンドパスフィルタ群16のうちで決定された固有振動の周波数を通過するバンドパスフィルタから供給される車輪速信号を読み込む。次に、ステップS132で読み込んだ車輪速信号の振幅の絶対値つまりゲインを求める。

【0050】次に、ステップS136で例えば4輪の車輪速の平均から車速を求め、この車輪速に基づいてマップを選択する。このマップは、図16に基づいて、各車速毎に固有振動の周波数(40Hz近傍)におけるゲインと路面摩擦係数 $\mu$ とを関係付けたものである。そして、ステップS134で上記ゲインで選択したマップを参照して路面摩擦係数 $\mu$ を推定する。この後、処理サイクルを終了する。

【0051】このように、タイヤ空気圧に基づいて固有振動の周波数を決定し、決定した固有振動の周波数のゲインでマップを参照して路面摩擦係数 $\mu$ を推定するため、タイヤ空気圧の影響により誤ることなく正確な路面摩擦係数 $\mu$ を推定することができる。更に、環境温度によって、図9に示すモデルのバネ24の定数が変化して固有振動の周波数が変化する。圧雪路等の路面では、図22(A)に示すように、温度が高いときの固有振動の周波数 $f_a$ に対して温度が中程度のときの固有振動の周波数 $f_b$ 、温度が低いときの固有振動の周波数 $f_c$ の順に周波数が上昇する。同様に乾燥アスファルト等の路面では、図19(B)に示すように、温度が高いときの固有振動の周波数 $f_a$ に対して温度が中程度のときの固有振動の周波数 $f_b$ 、温度が低いときの固有振動の周波数 $f_c$ の順に周波数が上昇する。つまり温度が変動した場合は固有振動の周波数を固定していると、その周波数のゲインをそのまま用いると、路面摩擦係数 $\mu$ を誤って推定することになる。

【0052】この場合も、図20の実施例においてはステップS129で温度を検出し、この検出温度から固有振動の周波数を決定し、また、図21の実施例においてはステップS138で温度を検出し、この検出温度から固有振動の周波数を決定することによって対応することができ、正確な路面摩擦係数 $\mu$ を推定することができる。

【0053】先に述べたように、乾燥アスファルト等の

滑らかな路面では路面外乱が小さいため、車輪速信号の周波数スペクトラムは図10の実線に示すように全体のゲインが小さくなり、圧雪路等の凸凹の路面では路面外乱が大きいため、この路面外乱がオフセットとなり車輪速信号の周波数スペクトラムは図10の破線に示すように全体のゲインが大きくなる。この場合は固有振動の周波数のゲインをそのまま用いると、路面摩擦係数 $\mu$ を誤って推定することになる。

【0054】これを解決するための他の実施例について説明する。図23は本発明の路面状態判定装置の第3実施例のブロック図を示す。同図中、車輪速センサ10で検出された車輪速信号はECU（電子制御装置）12に供給される。ここでは車両の4輪のうち1輪の車輪速信号を車輪速センサ10で検出しているが、4輪の車輪速信号が所定時間毎に順次切換えられてECU12に供給される構成としても良い。ECU12にはFFT（高速フーリエ変換器）14が接続されると共に、ナビゲーションシステム30及びメモリ32が接続されている。ナビゲーションシステム30は車両の走行位置を検出してECU12に供給する。メモリ32には走行位置に対応して、固有振動の周波数（40Hz近傍）におけるゲインと路面摩擦係数 $\mu$ とを関係付けたマップが予め格納されている。

【0055】図23に示すECU12が実行する路面状態判定処理の第4実施例のフローチャートを図24に示す。図24で図11と同一ステップには同一番号を付す。この処理は所定時間毎に繰り返される。図24中、まず、ステップS112で車輪速信号を読み込む。次に、ステップS114でカウンタ $n$ の値が所定値 $T_n$ 未満か否かを判別する。 $n < T_n$ の場合は、ステップS116で計測した車輪速をメモリ（内蔵のRAM）に保存し、かつ、カウンタ $n$ を1だけインクリメントしてステップS112へ進む。カウンタ $n$ の値が $T_n$ 以上のときはステップS118に進み、所定値 $T_n$ に対応する期間に計測された車輪速データをFFT14に供給してフーリエ変換を実行させ、各周波数におけるゲインを計算して車輪速の周波数スペクトラムを求める。ステップS120では固有振動の周波数（40Hz近傍）におけるゲインを上記車輪速の周波数スペクトラムから読み取る。

【0056】そして、ステップS160でナビゲーションシステム30から車両の走行位置を読み取り、メモリ32から走行位置に対応した固有振動の周波数（40Hz近傍）におけるゲインと路面摩擦係数 $\mu$ とを関係付けたマップを読み取る。次のステップS122で上記ゲインでマップを参照して路面摩擦係数 $\mu$ を推定する。この後、ステップS128でカウンタ $n$ を0にリセットして処理サイクルを終了する。

【0057】上記の実施例では、あらゆる道路の位置に対応した固有振動の周波数（40Hz近傍）におけるゲインと路面摩擦係数 $\mu$ とを関係付けたマップを用意しな

ければならない。このため、コストが高くなる。これを避けるためには、図25に示すように、ECU12に操作スイッチ34を設け、運転者が乾燥アスファルト、濡れたアスファルト、圧雪路等の状況を操作スイッチ34から入力して、ナビゲーションシステム30からの車両の走行位置に対応してメモリ32に道路状態（路面摩擦係数 $\mu$ ）を記憶させ、学習を行っても良い。

【0058】更に、図26に示すように、路車間通信システム36から走行位置における固有振動の周波数（40Hz近傍）におけるゲインと路面摩擦係数 $\mu$ とを関係付けたマップを受け取り、車両の走行位置に対応してメモリ32に道路状態（路面摩擦係数 $\mu$ ）を記憶させる構成としても良い。上記の図25、図26におけるECU12が実行する路面状態判定処理は図24に示すフローチャートを用いればよい。

【0059】

【発明の効果】上述の如く、請求項1に記載の発明は、路面状態に応じて車輪速信号の周波数解析結果が異なることに着目し、車輪速信号の周波数解析結果を用いて路面状態を判別する。このため、車輪の直接的な動きから判定を行っているので、騒音等の外乱の影響を受けにくく、正確な判定を行うことができる。また、既存の車輪速センサを利用でき、コストを低く抑えることができる。

【0060】請求項2に記載の発明では、判定手段は、所定周波数領域の信号強度に基づいて路面状態を判定する。このため、路面状態によって顕著な違いが現れる周波数帯域で判定を行うことができ、正確な判定を行うことができ、精度が向上する。請求項3に記載の発明では、判定手段は、所定周波数以下の信号強度に基づいて路面状態を判定する。このため、路面状態によって顕著な違いが現れる周波数帯域で判定を行うことができ、正確な判定を行うことができ、精度が向上する。

【0061】請求項4に記載の発明は、判定手段は、車輪速によって決まる所定周波数の信号強度に基づいて路面状態を判定する。タイヤでは車輪速によって定まる所定の周波数で外乱が現れ信号強度が変化し、路面状態によってこの変化度合いが異なるため、これを利用して路面状態を判定することが可能となる。請求項5に記載の発明は、判定手段は、車輪の固有振動周波数と略等しい周波数の信号強度に基づいて路面状態を判定する。車輪の固有振動周波数と略等しい周波数では路面状態によって信号強度が変化するため、これを利用して路面状態を判定することが可能となる。

【0062】請求項6に記載の発明は、判定手段は、路面外乱の影響だけを受ける周波数の信号強度に基づき前記車輪の固有振動周波数と略等しい周波数の信号強度を正規化し、正規化した信号強度に基づき路面状態を判定する。路面の凸凹による路面外乱で信号強度が変化するため、路面外乱の影響だけを受ける周波数の信号強度に

基づき信号強度を正規化することにより、路面外乱の影響を排除して正確に路面状態を判定することができる。

【0063】請求項7に記載の発明は、路面の振動情報を走行位置に応じて記憶する記憶手段を有し、判定手段は、前記記憶手段に記憶されている走行位置に応じた振動情報と車輪の固有振動周波数と略等しい周波数の信号強度に基づいて路面状態を判定する。路面の凸凹による路面の振動情報を予め記憶し、走行位置に応じた振動情報と車輪の固有振動周波数と略等しい周波数の信号強度に基づいて路面状態を判定するため、路面外乱の影響を排除して正確に路面状態を判定することができる。

【0064】請求項8に記載の発明は、車輪速に基づき前記判定手段の判定基準を変更する判定基準変更手段を有する。車輪速によって車輪の固有振動周波数と略等しい周波数の信号強度が変化するため、車輪速に基づき判定基準を変更することで正確に路面状態を判定することができる。請求項9に記載の発明は、タイヤ空気圧に基づき前記判定手段で判定に用いる周波数を変更する周波数変更手段を有する。タイヤ空気圧によって車輪の固有振動周波数が変化するため、タイヤ空気圧に基づき判定に用いる周波数を変更することで正確に路面状態を判定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の路面状態判定装置の第1実施例のブロック図である。

【図2】路面状態判定処理の第1実施例のフローチャートである。

【図3】車輪速信号の周波数スペクトラムを示す図である。

【図4】本発明の路面状態判定装置の第2実施例のブロック図である。

【図5】路面状態判定処理の第2実施例のフローチャートである。

【図6】本発明の路面状態判定装置の第3実施例のブロック図である。

【図7】路面状態判定処理の第3実施例のフローチャートである。

【図8】車速とアンユニフォーミティ外乱の基本波との関係を示す図である。

【図9】タイヤモデルを示す図である。

【図10】固有振動のゲインと路面状態との関係を示す図である。

【図11】路面状態判定処理の第4実施例のフローチャートである。

【図12】路面状態判定処理の第5実施例のフローチャートである。

【図13】路面外乱に応じた固有振動のゲインと路面状態との関係を示す図である。

【図14】路面状態判定処理の第6実施例のフローチャートである。

【図15】路面状態判定処理の第7実施例のフローチャートである。

【図16】車速に応じた固有振動のゲインと路面状態との関係を示す図である。

【図17】路面状態判定処理の第8実施例のフローチャートである。

【図18】路面状態判定処理の第9実施例のフローチャートである。

【図19】タイヤ空気圧に応じた固有振動のゲインと路面状態との関係を示す図である。

【図20】路面状態判定処理の第10実施例のフローチャートである。

【図21】路面状態判定処理の第11実施例のフローチャートである。

【図22】温度に応じた固有振動のゲインと路面状態との関係を示す図である。

【図23】本発明の路面状態判定装置の第3実施例のブロック図である。

【図24】路面状態判定処理の第12実施例のフローチャートである。

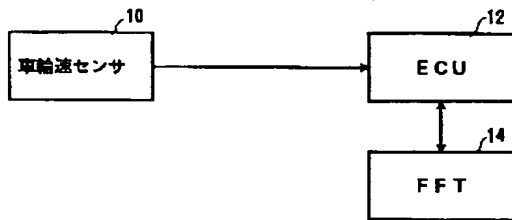
【図25】本発明の路面状態判定装置の第4実施例のブロック図である。

【図26】本発明の路面状態判定装置の第5実施例のブロック図である。

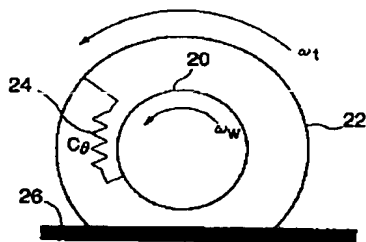
【符号の説明】

- 10 車輪速センサ
- 12 ECU（電子制御装置）
- 14 FFT（高速フーリエ変換器）
- 16 バンドパスフィルタ群
- 18 可変バンドパスフィルタ群
- 20 ホイール
- 22 ベルト
- 24 バネ
- 26 路面
- 30 ナビゲーションシステム
- 32 メモリ
- 34 操作スイッチ
- 36 路車間通信システム

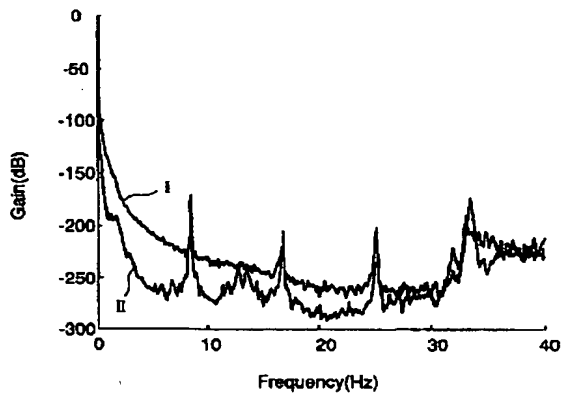
【図1】



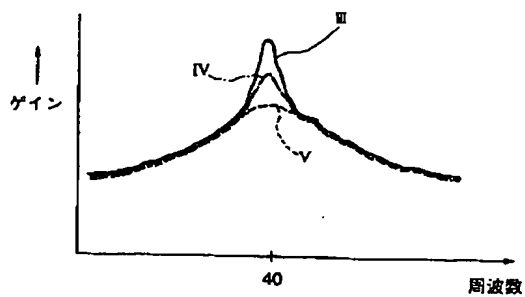
【図9】



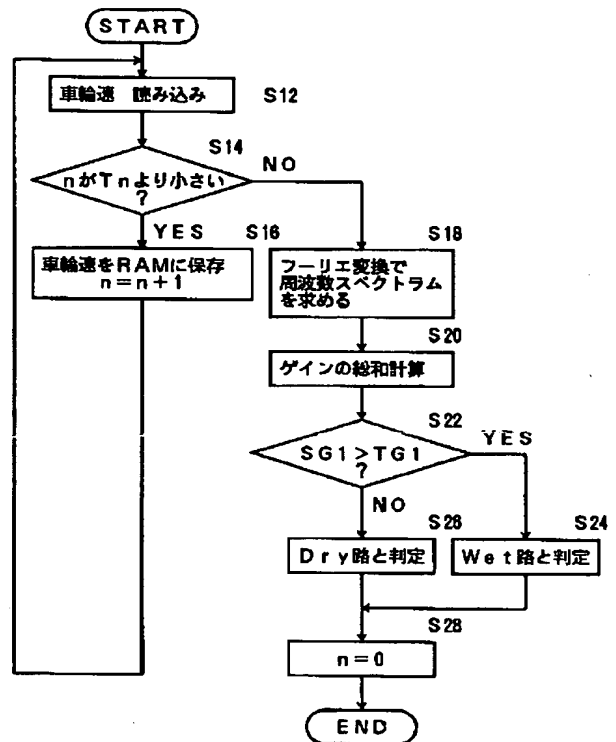
【図3】



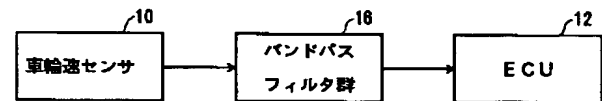
【図10】



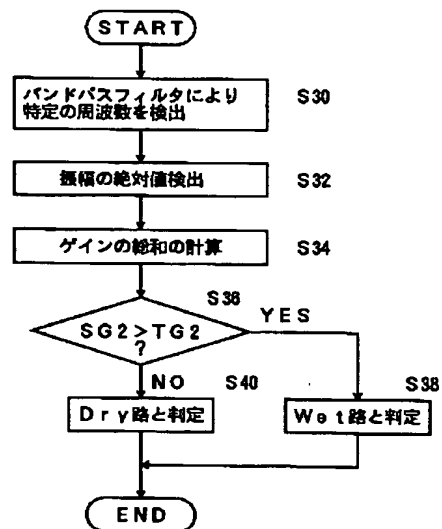
【図2】



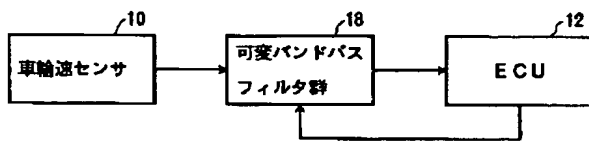
【図4】



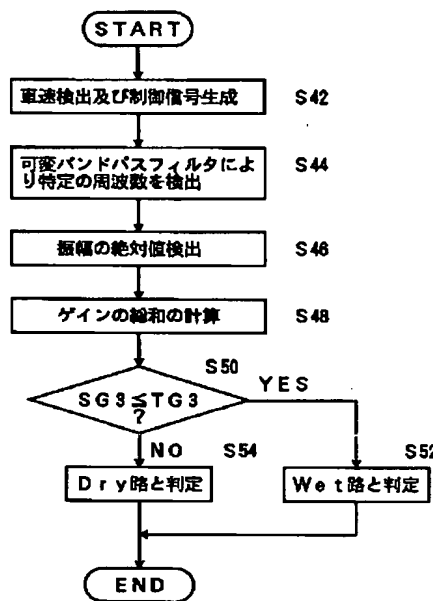
【図5】



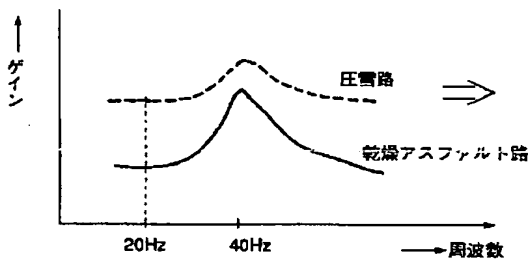
【図6】



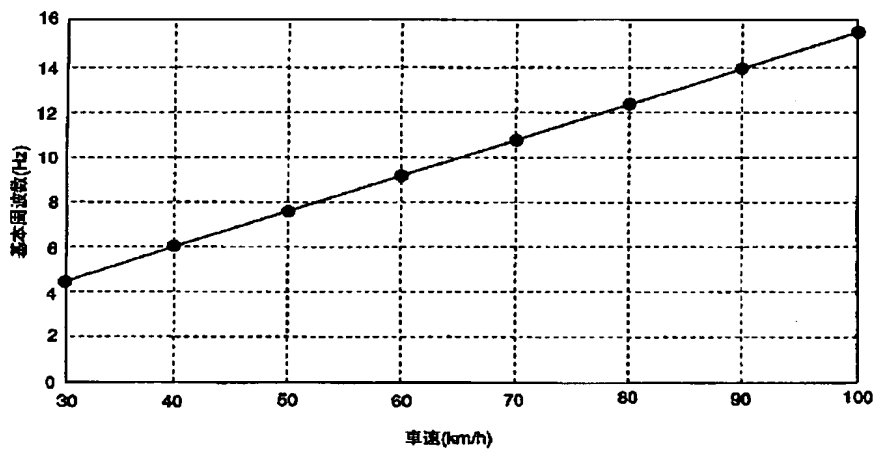
【図7】



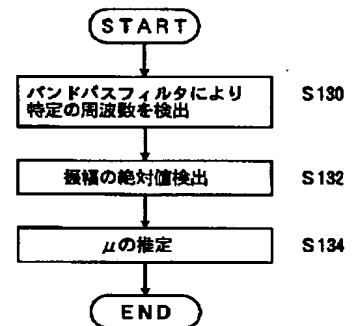
【図13】



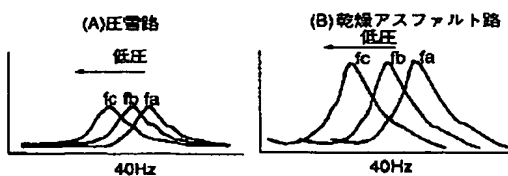
【図8】



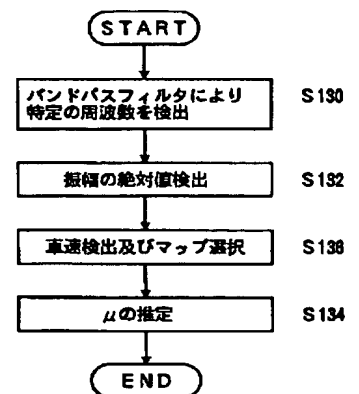
【図12】



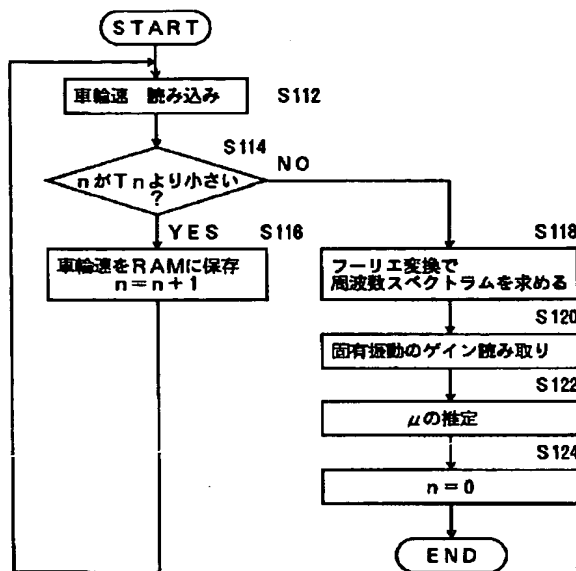
【図19】



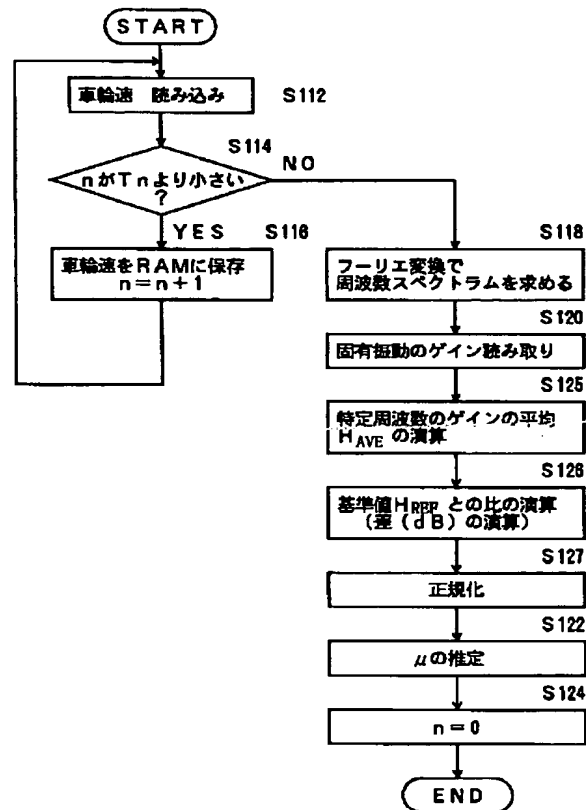
【図18】



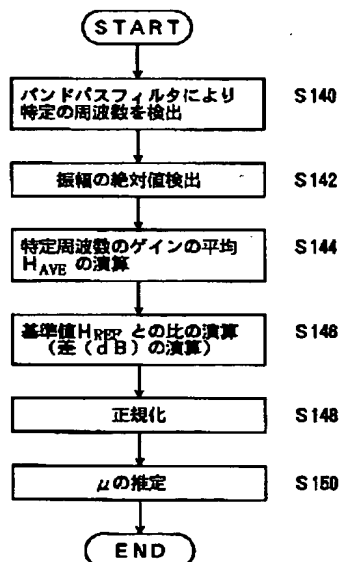
【図11】



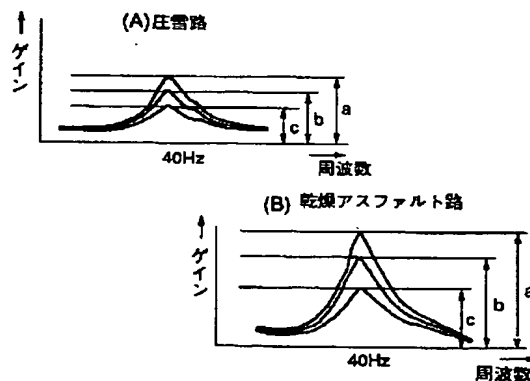
【図14】



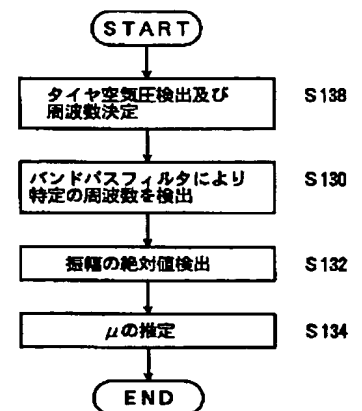
【図15】



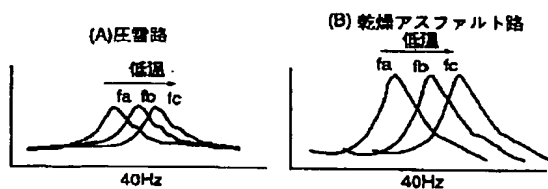
【図16】



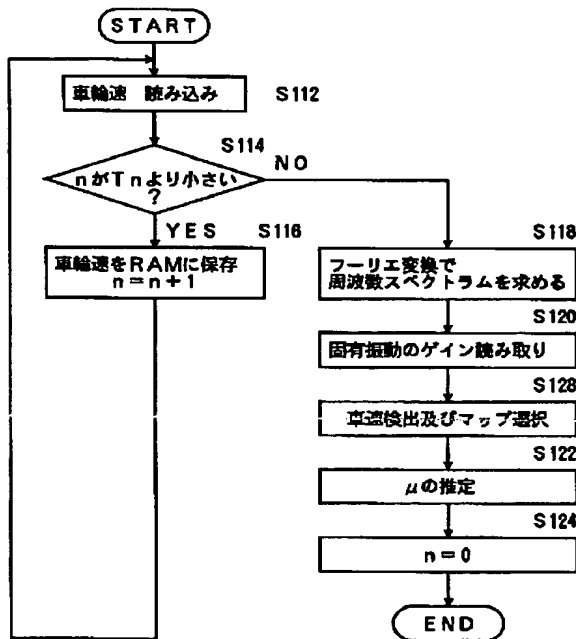
【図21】



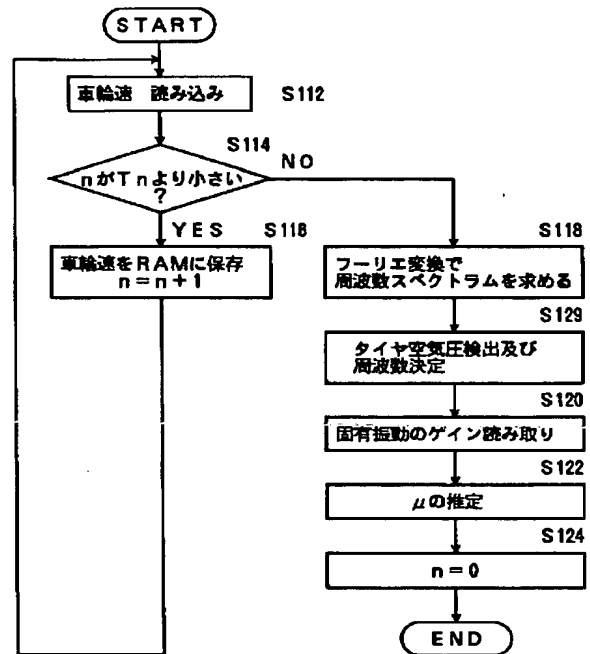
【図22】



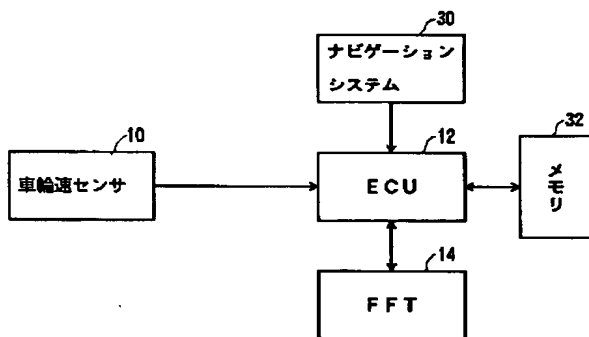
【図17】



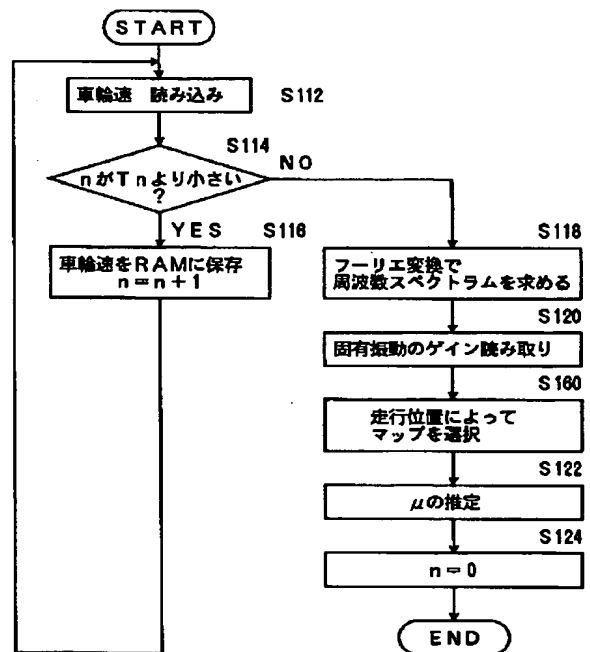
【図20】



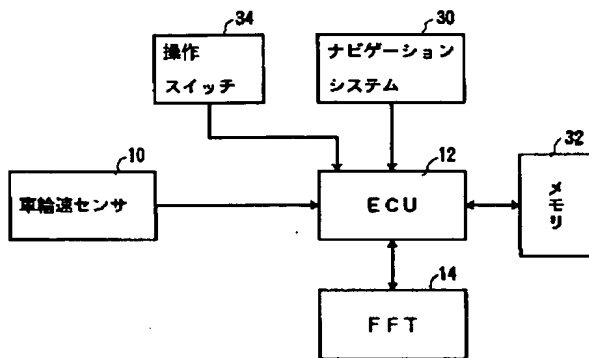
【図23】



【図24】



【図25】



【図26】

